



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 18 799 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 B 7/30**  
G 01 B 7/00  
G 01 D 5/20  
// (B62D 6/00, G01B  
101:10)

②1 Aktenzeichen: 198 18 799.8  
②2 Anmeldetag: 28. 4. 98  
④3 Offenlegungstag: 24. 6. 99

DE 198 18 799 A 1

⑤6 Innere Priorität:  
197 57 115. 8 20. 12. 97  
⑦1 Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Fischer, Roland, Dr., 61130 Nidderau, DE; Windte,  
Carl Volker, Dr., 63067 Offenbach, DE

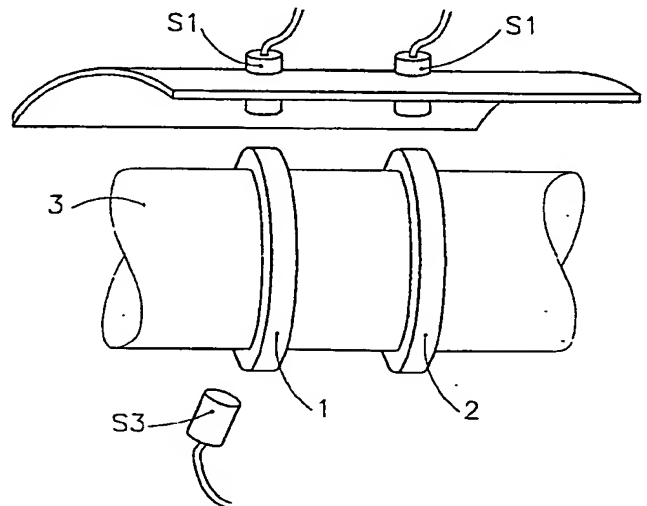
⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 44 40 214 C2  
DE 1 95 39 134 A1  
DE 40 30 450 A1  
WO 89 11 080 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Messen von Winkeln

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen von Winkeln mit mindestens einer magnetoresistiven Sensoreinheit und einem magnetischen Maßstab, wobei die Vorrichtung als magnetischen Maßstab mindestens zwei auf einer drehbaren Achse (3) und mit dieser Achse (3) fest verbundene, magnetisch kodierte Ringe (1, 2) aufweist, und die Sensoreinheit zwei magnetoresistive Sensoren (S1, S2) aufweist, die im gesättigten Zustand betrieben sind, und zusätzlich ein Hallsensor (S3) vorgesehen ist.



DE 198 18 799 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen von Drehwinkeln einer Drehachse mit magnetischem Maßstab und dem Maßstab zugeordneter Sensoreinheit gemäß dem Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche.

Im Hinblick auf neue Konzepte mit sogen. x-by-wire-Einrichtungen bei Fahrzeugen und anderen mobilen Systemen, bei denen mechanische Übertragungsmittel z. B. zum Lenken und/oder Abbremsen weitgehend durch elektronische Module ersetzt werden, steigt zunehmend die Anforderung an die Genauigkeit der Positionsbestimmung der zu steuernden Komponenten. Wesentlich ist die Kenntnis der Absolutposition. So ist z. B. bei Lenkstangen eines Fahrzeugs die Kenntnis von Drehwinkeln von  $0^\circ$  bis über  $360^\circ$  gefordert. Zwar ist die Erfassung von Absolutwinkeln mit herkömmlichen Sensoren, z. B. induktive Sensoren, Potentiometer-Sensoren oder optische Sensoren mit Graycode möglich, jedoch ist die Auflösung solcher Sensoren zu gering und für den Einsatz bei x-by-wire-Systemen nicht geeignet. Magnetoresistive Winkelsensoren sind empfindlicher in der Winkelauflösung, sie sind jedoch aus prinzipiellen Gründen nur zur Erfassung von Absolutwinkeln von weniger als  $180^\circ$  geeignet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erfassung von Absolutwinkeln von bis zu  $360^\circ$  mit einer Auflösung von weniger als  $0,05^\circ$  anzugeben.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weiterführende und vorteilhafte Ausgestaltungen sind den weiteren Ansprüchen und der Beschreibung zu entnehmen.

Die Erfindung geht von einer Vorrichtung zum Messen von Winkeln aus, wobei die Vorrichtung ein Winkelelement mit einem magnetischen Maßstab und einer Sensoreinheit umfaßt und die Sensoreinheit mindestens einen magnetoresistiven Sensor aufweist. Die Erfindung besteht darin, daß die Vorrichtung als magnetischen Maßstab mindestens zwei koaxiale, magnetisch kodierte Ringe auf einer drehbaren Achse aufweist. Die Anzahl der Magnetpole auf dem halben Umfang jedes der Ringe ist teilerfremd. Die Sensoreinheit weist zwei magnetoresistive Sensoren auf, die im gesättigten Zustand betrieben sind. Erfindungsgemäß ist zusätzlich ein Hallsensor vorgesehen, der einem kodierten Ring zugeordnet ist, der eine ungerade Anzahl von Polen auf dem halben Umfang des Rings aufweist.

In einer bevorzugten Ausführung sind die Ringe konzentrisch, bezogen auf die drehbare Achse in radialer Richtung benachbart, angeordnet. Der Vorteil ist, daß die beiden Ringe nur eine minimale Bauhöhe benötigen, so daß die Achsenlänge gering sein kann. Ein weiterer Vorteil ist, daß die Anordnung gegen Vibrationen der Achse unempfindlich ist, da sich der Abstand zwischen Sensor und Ring wesentlich geringer ändert als bei axial versetzten und mit der Achse fest verbundenen Ringen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführung sind die Ringe bezogen auf die drehbare Achse in axialer Richtung benachbart angeordnet. Vorzugsweise sind die Ringe mit der Achse fest verbunden. Der Vorteil ist, daß diese Anordnung mechanisch sehr robust ist.

Zeckmäßig ist, daß ein Ring einteilig ausgebildet ist. Der Vorteil ist eine einfache und sichere Montage auf der Achse. Eine weitere zweckmäßige Anordnung ist, einen Ring aus mehreren Ringsegmenten zusammenzusetzen. Der Vorteil ist, daß eine nachträgliche Montage eines erfindungsgemäßen Winkelsensorsystems auf einer Achse möglich ist. Vorteilhafterweise sind die Ringsegmente übereinander bzw. axial versetzt angeordnet und können sich vorzugsweise in Umfangsrichtung überlappen.

In einer günstigen Ausbildung des erfindungsgemäßen Winkelsensoranordnungs ist ein magnetoresistiver Sensor und ein Hallsensor getrennt voneinander einzeln an einem magnetisch kodierten Ring angeordnet.

In einer weiteren bevorzugten Ausführung sind ein magnetoresistiver Sensor und ein Hallsensor in einem einzigen Bauelement vereint. Bevorzugt ist das Bauelement ein mikroelektronisches Bauelement, besonders bevorzugt ist das Bauelement ein monolithisch integriertes Bauelement, welches einen integrierten magnetoresistiven Sensor und einen integrierten Hallsensor aufweist.

In einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betreiben einer Vorrichtung zum Bestimmen von Winkeln wird der Phasenversatz zwischen den Ausgangssignalen zweier magnetoresistiver Sensoren bestimmt und mit dem Vorzeichen des Ausgangssignals eines Hallsensors verknüpft. Damit lassen sich Drehwinkel absolut zwischen  $0$  und  $360^\circ$  mit hoher Genauigkeit und hoher Auflösung bestimmen.

Im folgenden sind die Merkmale, soweit sie für die Erfindung wesentlich sind, eingehend erläutert und anhand von Figuren näher beschrieben. Es zeigen

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Anordnung mit Winkelsensoren und koaxialen Ringen,

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Anordnung mit konzentrischen Ringen,

Fig. 3 eine Detaildarstellung von erfindungsgemäßen Winkelsensoren und

Fig. 4 Signal-Winkelzusammenhänge einer Winkelsensoranordnung gemäß der Erfindung.

Ein Winkelsensorsystem gemäß der Erfindung ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Auf einer Achse 3, z. B. einem Lenkrad in einem Kraftfahrzeug, sind axial benachbart zueinander ein erster Ring 1 und ein zweiter Ring 2 koaxial angeordnet. Jedem Ring 1, 2 ist radial benachbart ein magnetoresistiver Sensor S1 bzw. S2 zugeordnet. Magnetoresistive Sensoren weisen hierbei eine vorteilhafte hohe Auflösung von besser als  $0,05^\circ$  bis hinunter zu  $0,01^\circ$  auf und sind daher für diese hochauflösenden Winkelmessungen geeignet. Ein weiterer Sensor S3 ist einem der Ringe 1, 2 zugeordnet. Dies ist schematisch in der Figur dargestellt.

Die beiden Ringe 1, 2 bilden den magnetischen Maßstab des erfindungsgemäßen Winkelsensorsystems und sind magnetisch codiert, so daß am Umfang jedes Ringes 1, 2 umlaufend Nordpole und Südpole abwechselnd aneinandergereiht sind. Die magnetische Kodierung ist nicht detailliert in der Figur abgebildet. In diesem Ausführungsbeispiel ist der Magnetmaßstab 1, 2 nicht gehäust, sondern auf der Außenseite der Achse 3 angeordnet. Vorteilhaft ist, daß der Abstand zwischen Maßstab und Sensor hier minimal ist. Es ist auch möglich, den Magnetmaßstab im Innern eines nichtmagnetischen Rohres, vorzugsweise aus einem austenitischen Stahl mit sehr hohem Stickstoffgehalt, anzuordnen. Der Vorteil ist, daß der Maßstab vor Verschmutzung, Korrosion und Verschleiß geschützt ist. Ein Rohr aus dem bevorzugten Material hat den besonderen Vorteil, daß das Material sehr fest und stabil ist und bearbeitet werden kann, insbesondere umgeformt und/oder poliert, ohne magnetische Martensitanteile zu bilden.

Eine weitere vorteilhafte Anordnung der Ringe 1, 2 und Sensoren S1, S2 ist in Fig. 2 dargestellt. Ein weiterer Sensor S3 ist nicht gesondert abgebildet. Die beiden coaxialen Ringe 1, 2 sind konzentrisch in einer Ebene senkrecht zu einer Achse 3 angeordnet. Bevorzugt sind die Ringe 1, 2 mit einem Träger verbunden, der mit der Achse 3 fest verbunden ist. Der Träger kann sehr dünn sein, so daß die Einbauhöhe der gesamten Anordnung gering ist. Die den Ringen zugeordneten Sensoren S1 und S2 detektieren das magnetische Signal des jeweiligen Ringes 1, 2. Bei einer etwaigen Vibration der Achse 3 bewegen sich die Ringe zwar relativ zu den Sensoren in radialer Richtung senkrecht zur Achse 3, jedoch ändert sich der Abstand zwischen Ringen und Sensoren kaum. Daher wird das Meßsignal nur geringfügig durch eine Abstandsänderung beeinflusst. Dies ist vorteilhaft für den Einsatz im Fahrzeug, bei der Lenkbewegungen mit Hilfe der erfindungsgemäßen Anordnung detektiert werden sollen, da im Fahrbetrieb Vibrationen etwa der Lenkspindel nicht vermeidbar sind.

Am Umfang jedes Ringes 1, 2 sind umlaufend Nordpole und Südpole abwechselnd aneinandergereiht. Dies ist in Fig. 3 dargestellt. Der Übersichtlichkeit wegen sind in der Figur die beiden Magnetmaßstabsringe 1, 2 nicht übereinander, sondern nebeneinanderliegend gezeichnet. Die einzelnen Pole weisen die Pollänge P auf, bevorzugt ist die Pollänge P für alle Pole gleich. Die Zahl der Pole eines Halbkreises ist im ersten Ring 1  $n_1$  und im zweiten Ring 2  $n_2$ . Die Gesamtzahl der Magnetpole in jedem Ring ist  $2 \cdot n_1$  bzw.  $2 \cdot n_2$ . Jeder Ring 1, 2 wird von einem magnetoresistiven Sensorelement S1, S2 abgetastet, dessen Ausgangssignal mit der abgetasteten Kodierung korreliert ist. Die Sensorelemente sind dazu mit üblichen Meßbrücken ausgestattet, die nicht dargestellt sind.

Jeder magnetoresistive Sensor S1, S2 wird im gesättigten Zustand betrieben, d. h. die lokale magnetische Feldstärke am Sensor S ist groß genug, damit der Sensor S gesättigt ist. Vorzugsweise werden die magnetischen Kodierungen mit einer entsprechenden Feldstärke versehen. Typische Sättigungsfeldstärken für magnetoresistive Sensoren liegen z. B. oberhalb von etwa 10–20 mT. Besonders günstig ist, den Abstand zwischen Magnetmaßstab 1, 2 und Sensor S1, S2 so gering zu wählen, daß eine möglichst hohe Feldstärke am Ort des Sensors erreicht ist, insbesondere oberhalb der Sättigungsfeldstärke, jedoch das Sensor-Signal noch weitgehend sinus- bzw. cosinusförmig ist. Bei zu geringem Abstand verzerrt das Signal und weicht stark von der zur Auswertung vorteilhaften Sinus- bzw. Cosinusform ab, während die magnetische Feldstärke vorteilhaft zunimmt. Bei zu großem Abstand nähert sich die Signalförmigkeit zwar besser der Sinus- bzw. Cosinusform an, aber die magnetische Feldstärke nimmt ab und ist schließlich zu gering, um einen magnetoresistiven Sensor auszusteuern. Im ausgesteuerten, sogen. gesättigten Zustand ist ein magnetoresistiver Sensor nicht mehr auf die Feldstärke, sondern auf den Winkel  $\theta$  des Sensors, bzw. des magnetfeldempfindlichen Sensorelements, zum Magnetfeld empfindlich. Dabei ruft prinzipiell ein Winkel  $\theta$  zwischen Feld und Sensor dasselbe Signal hervor wie ein Winkel  $\theta + \pi$ . Daraus folgt, daß mit magnetoresistiven Sensorelementen in dieser Anordnung eine absolute Messung des Winkels nur im Bereich von  $0^\circ$  bis maximal  $180^\circ$  möglich ist. Diese Einschränkung hat mehrere Gründe.

Der absolute Drehwinkel  $\alpha$  im Bereich von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  der Achse 3 wird ermittelt aus dem Phasenversatz  $\Delta\varphi$   $[0, 2\pi]$  der Sensorsignale S1 und S2. Die Zuordnung der Sensorsignale von  $\alpha$  zu  $\Delta\varphi$  muß deshalb eindeutig sein. Die Sensorsignale magnetoresistiver Sensoren sind periodisch mit der Pollänge P des magnetischen Maßstabs und nicht mit der Periodizität  $2P$  des Maßstabs selbst.

Da die Anzahl der Pole eines Halbringens  $n$  ist, muß ein magnetischer Ringmaßstab immer eine gerade Anzahl Pole  $2n$  aufweisen. Wenn für den ersten Ring 1  $n=n_1$  und für den zweiten Ring 2  $n=n_2$  gilt, dann ist für eine halbe Drehung um  $180^\circ$  der Phasenversatz  $\Delta\varphi$   $[0, 2\pi]$  genau dann eindeutig dem Drehwinkel  $\alpha$   $[0, 180^\circ]$  zuzuordnen, wenn  $n_1$  und  $n_2$  teilerfremd sind.

Was für einen Halbring gilt, kann für den Gesamttring  $\alpha$   $[0, 360^\circ]$  nicht gelten, da die Anzahl der Pole auf den Ringen den gemeinsamen Teiler 2 haben. Dies führt zur Einschränkung der absoluten Messung des Drehwinkel mit in der Sättigung betriebenen magnetoresistiven Sensoren auf Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$ .

Erfindungsgemäß läßt sich der Bereich der absoluten Winkelmessung vom Intervall von  $[0, \pi]$  auf  $[0, 2\pi]$  erweitern, wenn mindestens ein weiteres Sensorelement S3 vorgesehen ist, wobei das weitere Sensorelement S3 im Unterschied zu einem magnetoresistiven Sensor S1, S2 die Feldrichtung, d. h. die Polung eines erfaßten Magnetpols, erkennen kann. Ein besonders bevorzugtes Sensorelement ist ein Hallsensor. Geeignet sind auch andere Sensoren deren Ausgangssignal abhängig von der Polung eines erfaßten Magnetpols ist.

Da die Anzahl der Pole  $n_1, n_2$  in jedem Halbring der Ringe 1, 2 teilerfremd sein müssen, können insbesondere  $n_1$  und  $n_2$  nicht beide geradzahlig sein, sondern entweder ist  $n_1$  gerade und  $n_2$  ungerade oder  $n_2$  ist gerade und  $n_1$  ungerade oder beide,  $n_1$  und  $n_2$ , sind ungerade. In Fig. 3 ist in jeden der beiden Ringe 1, 2 eine Achse A eingezeichnet, die die Verhältnisse im Ring verdeutlichen soll, wenn die Achse 3 um  $180^\circ$  gedreht ist. Ist bei  $0^\circ$  ein Magnetpol, z. B. ein Südpol, einem Sensor S1, S2 zugeordnet, so ist bei gerader Polzahl im Halbkreis nach einer Drehung der Achse um  $180^\circ$  ein gleichsinniger Magnetpol (Südpol), bei ungerader Polzahl im Halbkreis ein ungleichsinniger Magnetpol (Nordpol) am Sensor S1, S2.

Der Hallsensor S3 ist an einem Ring zu installieren, welcher eine ungeradzahlige Anzahl von Polen im Halbring aufweist. Im Beispiel in Fig. 3 ist dies Ring 1. In diesem Fall ergibt sich bei  $180^\circ$  Drehung eine Umkehrung der Feldrichtung der magnetischen Kodierung am Ort des Hallsensors, die das die beiden Halbkreise von  $0^\circ$ – $180^\circ$  und von  $180^\circ$  bis  $360^\circ$  unterscheidende Signal liefert. Wird der Drehwinkel  $\alpha=180^\circ$  überschritten, d. h. der erste Halbkreis ist abgetastet, ist jeder weitere Winkelwert bis  $360^\circ$  als dem zweiten Halbkreis zugehörig erkennbar. Insbesondere unterscheidet sich das Ausgangssignal des Hallsensors 3 im Vorzeichen. Der Absolutwert des Hallsignals ist zur Auswertung nicht notwendig.

Erfindungsgemäß wird aus dem Ausgangssignal des ersten und zweiten magnetoresistiven Sensors S1, S2 der Phasenversatz  $\Delta\varphi$  bestimmt. Gleichzeitig wird das Vorzeichen des Ausgangssignals des Hallsensors bestimmt. Das Vorzeichen des Ausgangssignals des Hallsensors S3 ist z. B. positiv, wenn die Achse 3 in  $0^\circ$ -Stellung ist. Der Hallsensor steht z. B. einem Südpol gegenüber, wie in Fig. 3 dargestellt ist. Wenn die Achse 3 gedreht wird, ändert sich das Vorzeichen des Hallsignals, sobald ein Nordpol erfaßt wird. Wird die Achse 3 weitergedreht, ändert sich das Vorzeichen wieder, wenn der Hallsensor S3 den nächsten Südpol erfaßt. Nach einer Drehung um  $180^\circ$  kommt bei Ring 1, der im Halbkreis eine ungerade Polzahl mit  $n_1=3$  aufweist, der dem Ausgangszustand bei  $0^\circ$  entgegengesetzte Nordpol vor dem Hallsensor S3 zu liegen. Da die Polzahl im Ring bekannt ist, kann aus der Abfolge der Vorzeichenwechsel des Hallsignals und des Pha-

senversatzes  $\Delta\phi$  der Signale der magnetoresistiven Sensoren S1, S2 der jeweilige Absolutwinkel zwischen  $0^\circ$  und  $360^\circ$  eindeutig und mit hoher Genauigkeit bestimmt werden.

Ein magnetoresistives Sensorelement S1 oder S2 erzeugt, wenn es über den periodisch magnetisierten Maßstab geführt wird, zwei analoge Spannungssignale U1, U2, die an einer Brückenschaltung, in der kommerziell erhältliche magnetoresistive Widerstandselemente üblicherweise geschaltet sind, entnommen werden können.

Einer Periode des Maßstabes entspricht ein nebeneinanderliegendes Paar von magnetischen Polen, einem Nord- und einem Südpol. Bei  $2n$  Polen trägt der ringförmige Maßstab  $n$  Perioden. Einer Periode entspricht dann ein Winkelbereich von  $\Delta\alpha=2\pi/n$  Grad. Die analogen Spannungssignale der Sensorelemente S1, S2 sind ebenfalls periodisch, jedoch mit der Periode  $\pi/n$ . Daraus folgt, daß über einem einzigen Pol des Maßstabes eine volle Signalperiode erhalten wird. Dies ist in Fig. 4 dargestellt. Die Phase des sinus- bzw. cosinusförmigen Signals der Sensoren S1, S1 ändert sich demnach von  $0^\circ$ – $360^\circ$  innerhalb einer einzigen Pollänge P1, P2.

Die beiden analogen Spannungssignale U1, U2, die jeweils ein Sensorelement S1 oder S2 als Ausgangssignal liefert, weisen dieselbe Form auf, sind aber gegeneinander um  $\pi/2$  verschoben. Im Idealfall ist ihre Form die einer exakten Sinus- bzw. Cosinus-Kurve. Ihre reale Form hängt von der Magnetisierung des Maßstabes 1, 2 und dem Abstand des Sensorelementes S1, S2 zum Maßstab 1, 2 ab. Der sinusförmige Verlauf des Signals verbessert sich mit steigendem Abstand zwischen Sensor und Maßstab. Bei der Auswertung wird von idealen sinus- bzw. cosinusförmigen Verläufen der Signale U1( $\alpha$ ), U2( $\alpha$ ) in Abhängigkeit vom Drehwinkel  $\alpha$  ausgegangen.

Eine bevorzugte Auswertung hat den folgenden Ablauf: Die Drehachse, insbesondere ein Lenkrad eines Kraftfahrzeugs, mit dem Maßstab 1 und 2 steht an einer bestimmten Ausgangsposition, die durch den Winkel  $\alpha$  im Bereich von  $0$  bis  $180^\circ$  gekennzeichnet werden kann. Dieser entspricht eine bestimmte Phase  $\phi_1$  des Sinus- bzw. Cosinussignals des Sensors S1. Für die Auslenkung der Drehachse gelten mit der Signalphase  $\phi_1$  im Winkelbereich  $[0, \pi]$  die Werte

$$\alpha_k = \phi_1/2n_1 + k\pi/n_1 \text{ mit } k = 0, 1, 2, \dots, n_1-1$$

Durch die Verknüpfung mit dem Sensorsignal, insbesondere der Phase  $\phi_2$ , des zweiten Sensors S2 ergibt sich ein eindeutiger Winkelwert  $\beta$  für die Stellung der Drehachse im Bereich zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$ .

Ein bevorzugtes Verfahren zur Bestimmung der Phase aus den analogen Spannungssignalen der Sensoren S1, S2 ist im folgenden beschrieben. Die Auswertung für das zweite Sensorelement S2 ist völlig analog zur Auswertung der Signale des ersten Sensors S1.

Die analogen Sensorsignale U1, U2 des Sensors S1 werden zuerst mit einem Analog-Digitalwandler digitalisiert. Die weitere Verarbeitung erfolgt vorzugsweise mit einem Mikroprozessor. Der Bereich des Phasensignals  $\phi$  im Intervall zwischen  $0$  und  $360^\circ$  ( $\phi$ -Bereich  $[0, 2\pi]$ ) wird in mehrere, vorzugsweise 8, Teilsegmente zerlegt. Vorzugsweise weisen die Teilsegmente gleiche Länge auf. Jedes Teilsegment entspricht zweckmäßigerweise einer Pollänge P. Der Mikroprozessor stellt anhand des Vorzeichens der Signale U1 und durch Vergleich der Größe U1 des Signals fest, in welchem Segment man sich befindet. Abhängig davon wird die Phase  $\phi$  durch Auswertung der Sinus- oder Kosinusfunktion in dem betreffenden  $\phi$ -Segment bestimmt. Dies geschieht vorzugsweise durch Vergleich des Meßwertes mit Werten in einer abgelegten Tabelle.

Diese Tabelle umfaßt Wertepaare der Sinusfunktion im Winkelbereich  $[0, \pi/4]$ , wobei der Winkelbereich jeweils einem Teilsegment entspricht. Sie kann für die Auswertung in allen 8 Bereichen verwendet werden, da der Kurvenverlauf, abgesehen von Vorzeichen und Richtung, für alle Funktionen gleich ist. In der Fig. 4 sind das jeweils die steilen Flanken der Sinus- bzw. Cosinus-Funktionen. Eine kleine Änderung der Phase führt hier günstigerweise zu einer großen Signaländerung, so daß diese Winkelbestimmung grundsätzlich eine hohe Genauigkeit aufweist. Die weiteren Erläuterungen beziehen sich deshalb auf den ersten Bereich  $\phi \in [0, \pi/4]$ .

In der Tabelle sind die Zusammenhänge zwischen den Vorzeichen des sinus- und/oder cosinusförmigen Sensorspannungssignals, dem Betrag des sinus- und/oder cosinusförmigen Sensorspannungssignals und dem Phasenbereich dargestellt.

$\phi$ - Ber.	$0, \pi/4$	$\pi/4, 2\pi/4$	$2\pi/4, 3\pi/4$	$3\pi/4, 4\pi/4$	$4\pi/4, 5\pi/4$	$5\pi/4, 6\pi/4$	$6\pi/4, 7\pi/4$	$7\pi/4, 8\pi/4$
Vorzeichen								
sin, cos	+	+	+	-	+	-	-	+
	sin<cos	cos<sin	-cos<sin	-cos>sin	-sin<-cos	-cos<-sin	cos<-sin	-sin<cos
Auswertung mit:	sin	cos	cos	sin	sin	cos	cos	sin

Es werden durch Vergleich zunächst die zwei Wertepaare  $(\phi_k, \sin\phi_k)$ ,  $(\phi_{k+1}, \sin\phi_{k+1})$ , der Tabelle bestimmt, für die gilt:

$$\sin\varphi_k < \sin\varphi < \sin\varphi_{k+1}$$

Die gesuchte Phase  $\varphi$  liegt dann zwischen  $\varphi_k$  und  $\varphi_{k+1}$ . Durch lineare Interpolation wird  $\varphi$  genauer bestimmt. Die so bestimmte Phase  $\varphi$  wird in die Formel

$$\alpha_k = \varphi_1/2n_1 + k\pi/n_1 \quad k = 0, 1, 2, \dots, n_1-1$$

eingesetzt, womit  $\alpha$  bestimmt ist. Dabei ist noch nicht eindeutig, ob  $\alpha$  zwischen 0 und 180° oder zwischen 180° und 360° liegt. Da jedoch bei  $\alpha + 180^\circ$  der Hallsensor S3 einen anderssinniger Magnetpol sieht als bei  $\alpha$ , weist das Hallsignal bei  $\alpha + 180^\circ$  ein anderes Vorzeichen auf als bei  $\alpha$ . Erfindungsgemäß wird das Ausgangssignal mit dem Vorzeichen des Hallsignals verknüpft, und der Drehwinkel  $\alpha$  ist ein eindeutig bestimmter Winkelwert zwischen 0 und 360°.

In einem Zahlenbeispiel läßt sich die hohe Auflösung der Anordnung darlegen. Typischerweise trägt ein Ring  $2n=30$  Pole. Ein Pol entspricht also einem Winkelbereich von  $360^\circ/30=12^\circ$ . Dieser Winkelbereich entspricht einer Signalperiode, also einer Signalphase von 360°. Dieser Bereich wird in 8 Teilsegmente geteilt. Ein solches Teilsegment entspricht dann einem Winkel von  $12^\circ/8=1.5^\circ$ . Sind in der Tabelle 128 Wertepaare abgelegt, dann entspricht der äquidistante Abstand zwischen zwei Wertepaaren einem Winkelbereich von  $1.5^\circ/128=0.0117^\circ$ . Innerhalb dieses Bereiches kann vorzugsweise lineare interpoliert werden. Die Winkelauflösung ist deutlich besser als 0,5° und zeigt, daß das erfindungsgemäße Sensorsystem für den Einsatz bei sogen. X-by-Wire-Einrichtungen geeignet ist.

In einem weiteren bevorzugten Auswerteverfahren wird das digitalisierte Sinussignal durch das digitalisierte Cosinus-signal geteilt und die Phase  $\varphi$  durch den Mikroprozessor als arctan bestimmt. Auch hier wird die eindeutige Zuordnung der Phase im Polsegment innerhalb eines Halbkreises durch die Auswertung der Signale eines zweiten magnetoresistiven Sensors erreicht, der einem zweiten magnetischen Maßstab zugeordnet ist. Die eindeutige Zuordnung, ob das Signal einem Drehwinkel  $\alpha$  aus dem ersten (0–180°) oder dem zweiten Halbkreis (180–360°) zuzuordnen ist, liefert das Vorzeichen der Hallspannung des Hallsensors S3.

In einem weiteren bevorzugten Auswerteverfahren wird die arcsin-Bildung durch Berechnung ermittelt und nicht durch Vergleich von Werten, die in einer Tabelle abgelegt sind. Auch hier wird wiederum die eindeutige Zuordnung der Phase im Polsegment innerhalb eines Halbkreises durch die Auswertung der Signale eines zweiten magnetoresistiven Sensors erreicht, der einem zweiten magnetischen Maßstab zugeordnet ist, ebenso wie die eindeutige Zuordnung, ob das Signal aus dem ersten (0–180°) oder dem zweiten Halbkreis (180–360°) stammt, durch das Vorzeichen der Hallspannung des Hallsensors S3 geliefert wird.

Eine zweckmäßige Anordnung der magnetoresistiven Sensoren S1, S2 und des Hallsensors S3 gemäß der Erfindung besteht darin, diese getrennt voneinander anzuordnen, wobei ein erster magnetoresistiver Sensor und ein Hallsensor einem einzigen codierten Ring mit ungerader Polzahl  $n$  im Halbkreis und ein zweiter magnetoresistiver Sensor einem zweiten Ring mit gerader oder ungerader Polzahl  $n$  im Halbkreis zugeordnet ist. In dieser Anordnung können kommerziell erhältliche Sensoren mit den üblichen Auswerteschaltungen einfach verwendet werden.

Eine weitere bevorzugte Ausbildung eines Sensorelements ist, einen magnetoresistiver Sensor und einen Hallsensor in einem Bauelement zu vereinen, besonders bevorzugt weist das Sensorelement auf einem Träger einen monolithisch integrierten Hallsensor und magnetoresistiven Sensor auf. In dieser Ausbildung wird vorteilhaft ausgenutzt, daß Halbleitermaterialien sowohl einen Halleffekt als auch magnetoresistive Eigenschaften aufweisen können. Bevorzugt lassen sich auch unterschiedliche Materialien, welche jeweils optimale magnetoresistiven Eigenschaften und einen optimalen Hall-Effekt aufweisen, auf einem mikroelektronischen Chip integrieren. Die Anordnung ist sehr kompakt und robust und weist eine hohe Auflösung auf.

Für die Auswertung der Sensorsignale können auch andere Auswerteverfahren eingesetzt werden, bei denen die Modulation der Ausgangssignale der magnetoresistiven Sensoren mit der Polung eines erfaßten Magnetpols geeignet verknüpft werden kann.

Die Erfindung ist vorteilhaft zur Messung absoluter Drehwinkel von 0 bis 360° einsetzbar. Die bisher bekannten Lösungen sind durch fehlende Integration mit der Mechanik, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, und ihre geringe Auflösung gekennzeichnet. Sie sind verschleißanfällig und weisen ein großes Bauvolumen auf. Die erfindungsgemäße Lösung erlaubt dagegen eine kompakte und robuste Bauweise, die gleichzeitig verschleißresistent ist und ist in Fahrzeuge integrierbar.

Eine bevorzugte Ausführung ist die Anordnung der Ringe 1, 2 des Magnetmaßstabs in einem Rohr, dessen Material der Außenwand magnetisch durchsichtig ist. Ganz besonders bevorzugt ist dabei die Verwendung eines austenitischen Stahls, der einen sehr hohen Stickstoffgehalt von mehr als 0,3 Gewichtsprozent aufweist, insbesondere liegt der Stickstoffgehalt zwischen 0,3 und 1 Gewichtsprozent. Solche Stähle weisen im Gegensatz zu üblichen austenitischen Stählen den großen Vorteil auf, daß sie auch bei Verformung und Beanspruchung keinen Martensitanteil bilden, der unerwünschte magnetische Eigenschaften aufweist. Die bevorzugte Stahlart kann daher ohne besondere Nachbehandlung verformt und insbesondere geschliffen und poliert werden und weist bleibend eine große Härte und Zähigkeit auf. Damit gelingt der Einsatz als hochbelastbares Konstruktionselement, z. B. als Lenkstange mit einem integrierten Magnetsensor, sehr einfach und zuverlässig. Der Magnetmaßstab ist vor Beschädigung und Verschmutzung weitgehend geschützt.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Messen von Drehwinkeln einer Drehachse mit magnetischem Maßstab und dem Maßstab zugeordneter Sensoreinheit, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung als magnetischen Maßstab mindestens zwei, zumindest mittelbar auf einer drehbaren Achse (3) koaxial angeordnete magnetisch kodierte Ringe (1, 2) aufweist, daß die Anzahl der Magnetpole auf dem halben Umfang des einen Ringes (1) teilerfremd zu der Anzahl der Magnetpole auf dem halben Umfang des anderen Ringes (2) ist, daß die Sensoreinheit einen ersten und einen zwei-

ten Sensor (S1, S2) aufweist, deren Ausgangssignale mit einem detektierten Magnetfeld der Ringe (1, 2) korreliert sind, und daß zusätzlich ein dritter Sensor (S3) vorgesehen ist, der einem Ring (1, 2) zugeordnet ist, der eine ungerade Anzahl von Polen auf dem halben Umfang aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens der erste und der zweite den Ringen (1, 2) zugeordnete Sensor (S1, S2) ein magnetoresistiver Sensor ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die den Ringen (1, 2) zugeordneten magnetoresistiven Sensoren (S1, S2) im gesättigten Zustand betrieben sind.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der dritte den Ringen (1, 2) zugeordnete Sensor (S3) ein Hallsensor ist.

5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ringe (1, 2) bezogen auf die drehbare Achse (3) in axialer Richtung benachbart angeordnet sind.

6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ringe (1, 2) bezogen auf die drehbare Achse (3) konzentrisch angeordnet sind.

7. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Ring (1, 2) einteilig ausgebildet ist.

8. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Ring (1, 2) aus mehreren Ringsegmenten zusammengesetzt ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Ringsegmente (1, 2) kreisbogenförmig sind.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Ringsegmente (1, 2) übereinander oder axial nebeneinander angeordnet sind.

11. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein magnetoresistiver Sensor (S1) und ein Hallsensor (S3) getrennt voneinander einzeln einem magnetisch kodierten Ring (1) zugeordnet sind.

12. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein magnetoresistiver Sensor (S1) und ein Hallsensor (S3) in einem Bauelement vereint sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement ein mikroelektronisches Bauelement ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement ein monolithisch integriertes Bauelement ist, welches einen integrierten magnetoresistiven Sensor (S1) und einen integrierten Hallsensor (S3) aufweist.

15. Verfahren zum Betreiben einer Vorrichtung zum Bestimmen von Drehwinkeln einer Drehachse mit magnetischen Maßstäben und Sensoren, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils ein Sensor (S1, S2) einem magnetisch kodierten Ring (1, 2) eines Magnetmaßstabs zugeordnet wird, daß ein erster Ring (1), dessen Anzahl der Magnetpole auf dem halben Umfang teilerfremd zu der Anzahl der Magnetpole auf dem halben Umfang eines zweiten Ringes (2) ist, von dem dem ersten Ring (1) zugeordneten Sensor (S1) abgetastet wird und der zweite Ring (2) von dem dem zweiten Ring (2) zugeordneten Sensor (S2) abgetastet wird und magnetische Feldsignale der Ringe (1, 2) detektiert werden, daß ausgangsseitige Sensorspannungssignale (U1, U2) der Sensoren (S1, S2) digitalisiert werden, daß aus den Sensorspannungssignalen (U1, U2) ein Phasenwert ( $\phi$ ) und ein Phasenversatz ( $\Delta\phi$ ) bestimmt wird, daß aus dem Phasenversatz ( $\Delta\phi$ ) und den Absolutwerten der Sensorspannungssignale (U1, U2) ein Ausgangswert bestimmt wird, und daß dieser Ausgangswert mit einem Vorzeichen eines Ausgangssignals eines dritten Sensors (S3) zu einem vorzeichenbehafteten Ausgangswert verknüpft wird und dem vorzeichenbehafteten Ausgangswert ein Winkelwert ( $\alpha$ ) zwischen  $0^\circ$  und  $360^\circ$  zugewiesen wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß als erster und als zweiter Sensor (S1, S2) magnetoresistive Sensoren verwendet werden.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein magnetoresistiver Sensor (S1, S2) im gesättigten Zustand betrieben wird,

18. Verfahren nach Anspruch 15, 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß vom ersten und des zweiten Sensor sinus- und cosinusförmige Spannungssignale (U1, U2) ausgegeben werden.

19. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß als dritter Sensor (S3) ein Hallsensor verwendet wird.

20. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß aus sinus- und cosinusförmigen Sensorspannungssignalen (U1, U2) bei jedem Phasenwert ( $\Phi$ ) zwei Wertepaare ( $\Phi_k$ ,  $\sin\Phi_k$ ) gebildet werden und mit einer Tabelle verglichen werden.

21. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 15 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Phasenwert ( $\Phi$ ) durch lineare Interpolation bestimmt wird.

22. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Phasenwert ( $\Phi$ ) durch Division von sinus- und cosinusförmigen Sensorspannungssignalen (U1, U2) bestimmt wird.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

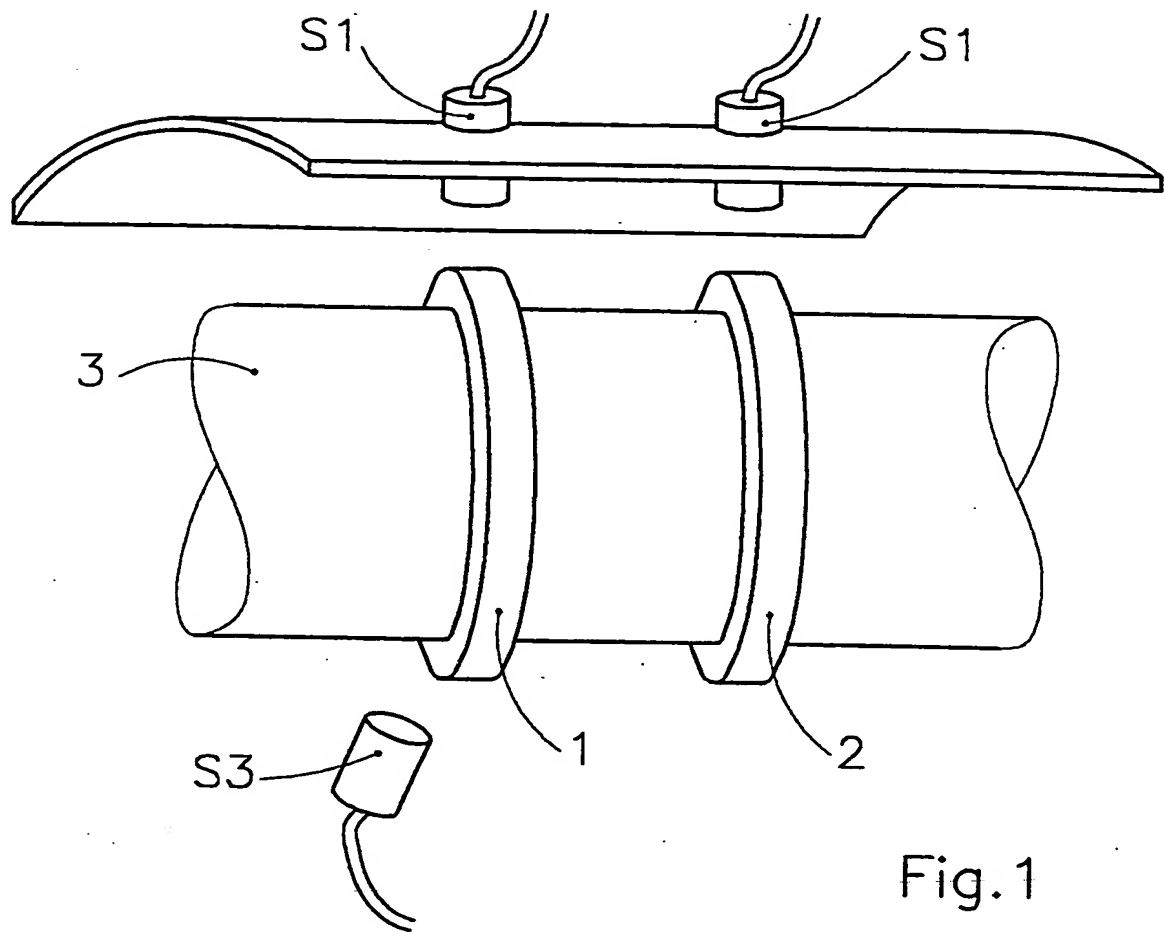


Fig.1



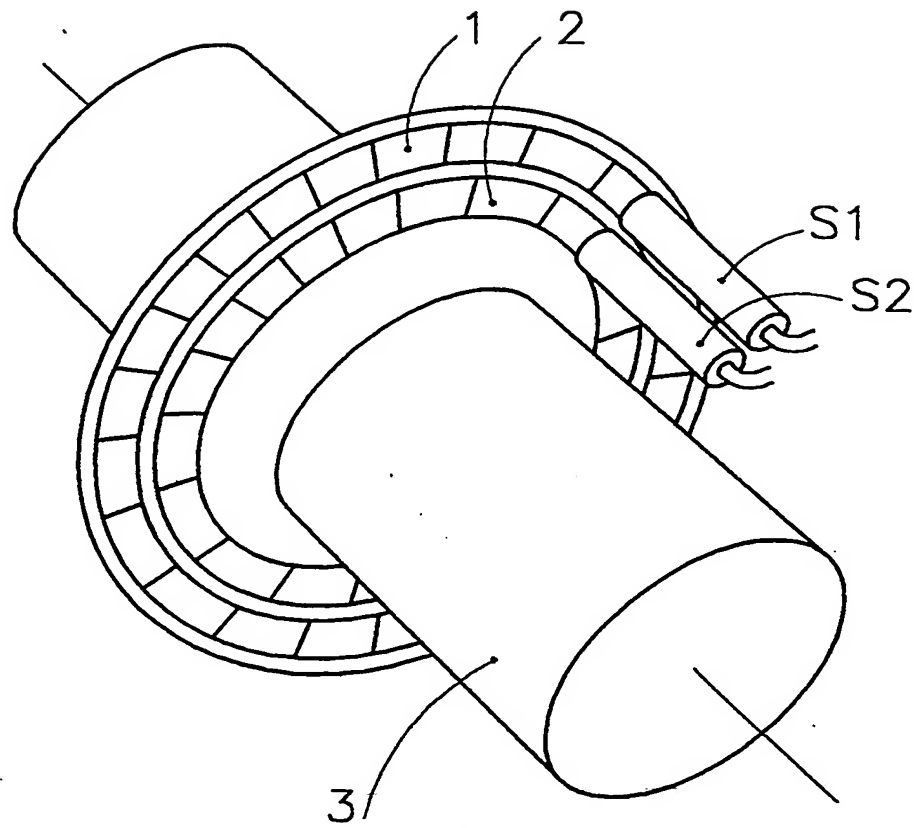


Fig.2

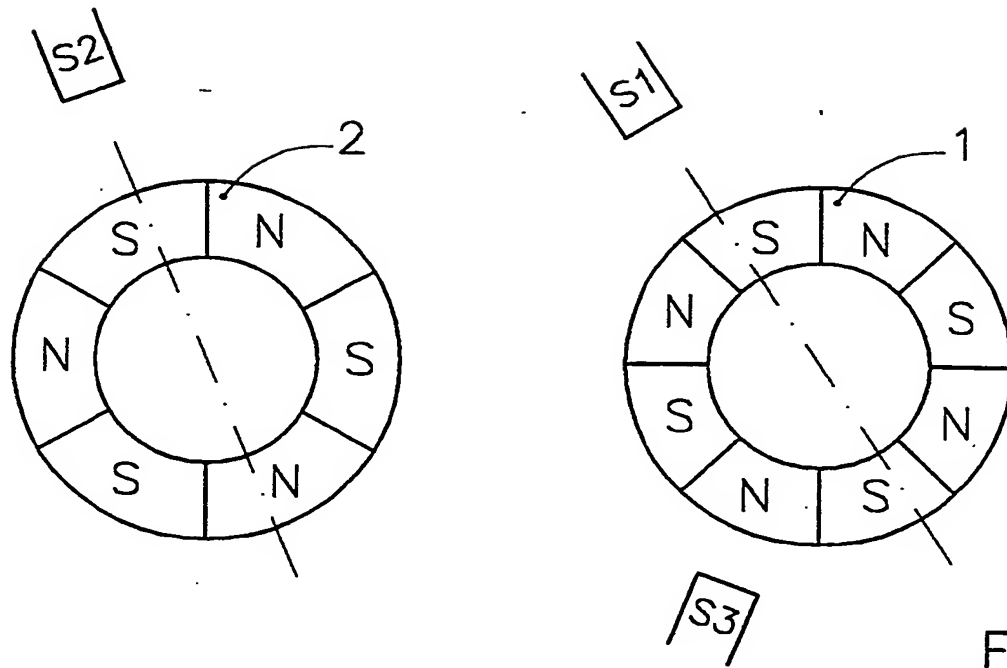


Fig. 3

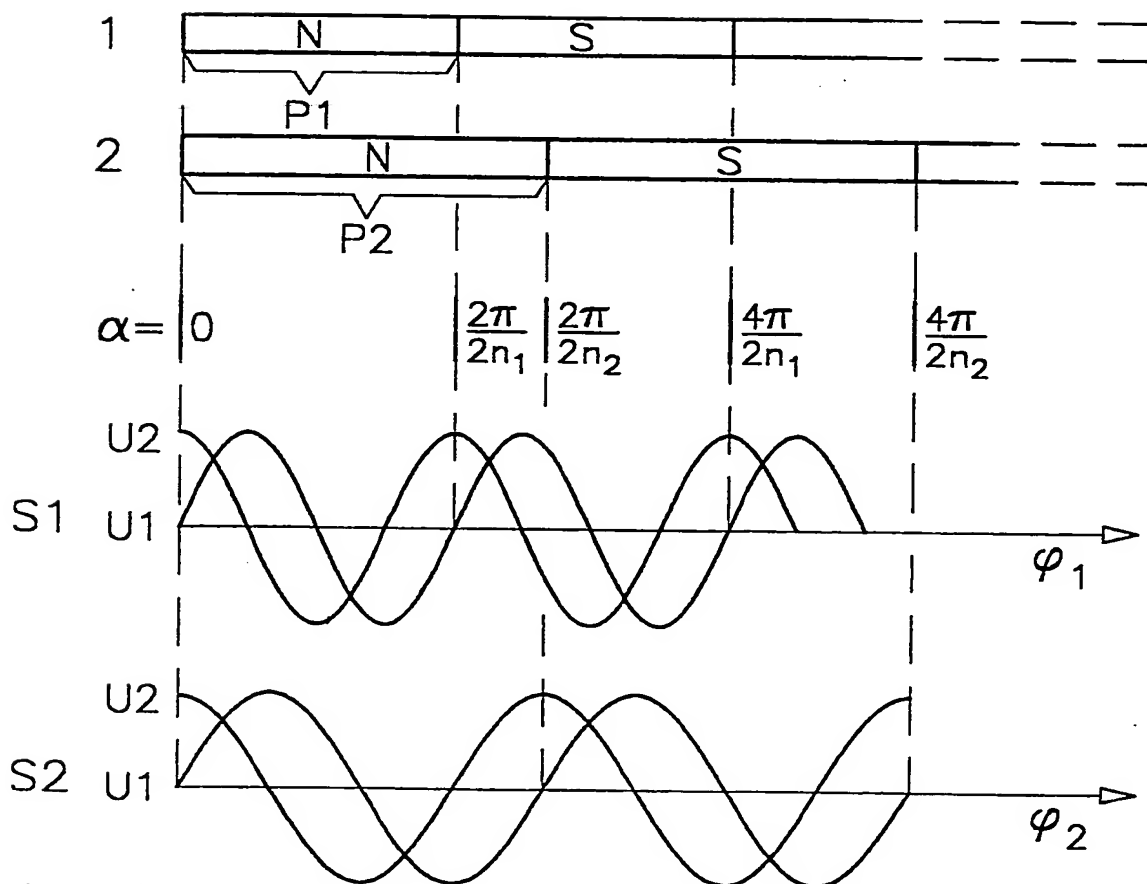


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**